

B25

Independent transit method of robot for agriculture - involves repeatedly performing swirl transit in arbitrary position which goes straight to scheduled distance after folding only frequency of folding angle of schedule for progress direction
Patent Assignee: HONDA MOTOR CO LTD; HONDA GIKEN KOGYO KK
Inventors: KATOU H; UENO I

Patent Family

Patent Number	Kind	Date	Application Number	Kind	Date	Week	Type
JP 10214114	A	19980811	JP 9729768	A	19970129	199842	B
<u>US 6076025</u>	A	20000613	US 9815312	A	19980129	200035	
<u>JP 3375843</u>	B2	20030210	JP 9729768	A	19970129	200314	

Priority Applications (Number Kind Date): JP 9729768 A (19970129)

Patent Details

Patent	Kind	Language	Page	Main IPC	Filing Notes
JP 10214114	A		19	G05D-001/02	
<u>US 6076025</u>	A			G06F-165/00	
<u>JP 3375843</u>	B2		19	G05D-001/02	Previous Publ. patent JP 10214114

Abstract:

JP 10214114 A

The method involves performing a swirl transit which starts a rotation transit from arbitrary positions in a robot area and gradually increases transit rotation. When the distance of the swirl transit to the boundary of the robot area detected by a sensor is within the scheduled distance, the swirl transit is folded and directed to the folding angle of a schedule for progress direction so that it might be stopped and kept away from the boundary.

The folding and rectilinear propagation of the swirl transit are repeated whenever the sensor detects the boundaries of the robot area. After folding only the frequency of folding angle of the schedule for progress direction, the swirl transit is again performed from the position that goes straight to the scheduled distance.

USE - E.g. cleaning robot, grass-cutting robot.

ADVANTAGE - Enables robot to move in swirl transit and rectilinear propagation inside transit area until boundary and obstruction area detected. Simplifies control since robot can be made in transit based on optimum conditions and boundary detection of transit area.

Dwg.6/17

Derwent World Patents Index

© 2005 Derwent Information Ltd. All rights reserved.

Dialog® File Number 351 Accession Number 12074159

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

特許第3375843号

(P3375843)

(45)発行日 平成15年2月10日(2003.2.10)

(24)登録日 平成14年11月29日(2002.11.29)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

G 0 5 D 1/02

G 0 5 D 1/02

L

J

S

請求項の数6(全 19 頁)

(21)出願番号 特願平9-29768

(22)出願日 平成9年1月29日(1997.1.29)

(65)公開番号 特開平10-214114

(43)公開日 平成10年8月11日(1998.8.11)

審査請求日 平成12年9月20日(2000.9.20)

(73)特許権者 000005326

本田技研工業株式会社

東京都港区南青山二丁目1番1号

(72)発明者 上野 一朗

埼玉県和光市中央一丁目4番1号 株式

会社 本田技術研究所内

(72)発明者 加藤 弘宣

埼玉県和光市中央一丁目4番1号 株式

会社 本田技術研究所内

(74)代理人 100079289

弁理士 平木 道人 (外1名)

審査官 槻木澤 昌司

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ロボットの自律走行方法および自律走行ロボットの制御装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 領域の境界を検出するセンサを有する移動ロボットの、前記領域内での自律走行方法において、前記領域内の任意の位置から旋回走行を開始してその旋回半径を徐々に大きくしていく渦巻き走行を行い、前記センサによって検出される前記境界までの距離が予定距離以内であると判断したときに、前記渦巻き走行を中止して前記境界から遠ざかるように進行方向に対して予定の折返し角度で折返して直進し、以後、次々に前記境界を検出する毎に折返しおよび直進を繰り返し、予定の折返し回数だけ折返した後、予定距離だけ直進した位置から再び前記渦巻き走行をすることを特徴とするロボットの自律走行方法。

【請求項2】 前記渦巻き走行に移るまでの折返し回数および最終折返し後、渦巻き走行に移るまでの直進距離

は、前記領域をほぼ網羅的に走行するのに要する時間が極小になるようにシミュレーションモデルにより決定したデータによることを特徴とする請求項1記載のロボットの自律走行方法。

【請求項3】 前記折り返し角度が進行方向に対してほぼ135°であることを特徴とする請求項1または2記載のロボットの自律走行方法。

【請求項4】 前記移動ロボットが、前記センサとして進行方向前方左右に少なくとも一対の障害物センサを有するとともに、

前記領域の境界が壁面で形成され、前記移動ロボットは障害物センサで前記境界の壁面を検出しつつ自律走行することを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載のロボットの自律走行方法。

【請求項5】 右車輪および左車輪のそれぞれの回転方

向および回転速度によって進行方向が決定される自律走行ロボットの制御装置において、本体の前方右側に設けられた右側障害物センサと、本体の前方左側に設けられた左側障害物センサと、前記右側障害物センサで検出された障害物までの距離に対応して前記左右の車輪を駆動するための走行パラメータ、および前記左側障害物センサで検出された障害物までの距離に対応して前記左右の車輪を駆動するための走行パラメータをそれぞれ決定する手段と、前記決定されたそれぞれの走行パラメータのうち、前記障害物を回避するための低速走行優先のルールに基づいて右車輪に対応する走行パラメータおよび左車輪に対応する走行パラメータを選択し、これによって、前記右車輪および左車輪の回転方向および回転速度を決定する手段とを具備したことを特徴とする自律走行ロボット。

【請求項6】 前記走行パラメータは少なくともロボットの走行速度を含み、前記障害物センサで検出された障害物までの距離が短くなるのに相応して前記走行速度が段階的に小さく設定されるように構成したことを特徴とする請求項5記載の自律走行ロボットの制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ロボットの自律走行方法および自律走行ロボットの制御装置に関し、特に、与えられた領域を、できるだけ短時間でほぼ網羅的に走行できるようにするロボットの自律走行方法および自律走行ロボットの制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】掃除ロボット、芝刈りロボット、左官ロボット、および農業用散布ロボット等、与えられた領域をくまなく自動走行して予め定められた作業をする移動ロボットが知られている。例えば、特開平5-46246号公報に記載された掃除ロボットは、掃除に着手する前に部屋内を周回し、部屋の大きさ、形状および障害物を検出して走行領域つまり掃除領域のマッピングを行う。そして、このマッピング動作によって得られた座標に基づき、ジグザグ走行や周回走行の半径を一周毎に小さくしていく螺旋走行を行って部屋全体を掃除する。このロボットは、接触センサおよび超音波センサで壁面を検知して進路を判定するとともに距離計によって周回の終了を検出するように構成されている。同様に、床面を余すことなく走行させるロボットは、特開平5-257533号公報にも開示されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】従来のロボットには、次のような問題点がある。上述のように、従来のロボットは多数のセンサを有し、該センサの出力に基づいて走行領域の状況をすべて把握した上で、行うべき動作を決定する。すなわち、前記センサで検出された情報は常時中央制御装置に取り込まれ、この情報に基づいて精度よ

くロボットを走行させるために次に行うべき制御が判断される。そして、この判断に基づいてモータ等の駆動系アクチュエータが制御される。

【0004】このように、多数のセンサの出力をすべて中央制御装置に取り込んで処理をするとすると、制御システムが極めて複雑化するとともに、処理速度も遅くなる。こうして処理に時間がかかるために、例えば、壁面等の障害物を検出した後、この障害物を回避する処置をとるのが遅れるという問題点がある。さらに、マッピング、ティーチング、および各種処理のためのしきい値の設定等、初期設定に時間がかかったり、この初期設定に熟練を要したりするという問題点があった。

【0005】したがって、従来のロボットは、複雑で大型化するだけでなく、高価にもなるため用途が限定される。例えば、工場内の搬送ロボットや大型の掃除ロボット等のごく限られた用途でしか実用化されていないのが現状である。

【0006】一方、ロボットの用途は、必ずしも対象領域の全体を高精度で走行する必要がある場合だけでなく、対象領域をほぼ網羅的に走行できれば、その走行方向や走行コースが予定のコースにどれだけ正確であるかは大きい問題とならない場合もある。例えば、掃除ロボットでは、用途によっては対象領域全体にわたって未清掃部分がなくなるように高い精度で走行させなくても、ある程度未清掃部分があっても十分という場合も多い。また、同様に、芝刈りロボットなどでは芝刈り跡がきれいに揃っている必要もあるが、単なる草刈りロボットとしてであれば、一定程度のできれば刈り取られていればそれで十分な場合もある。

【0007】本発明は、上記現状認識に基づき、より簡単な構成で、与えられた領域をほぼ網羅的にロボットを走行させることができるロボットの走行制御装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決し、目的を達成するための本発明は、センサによって領域の境界を検出しつつ該領域内を走行する移動ロボットの自律走行方法において、前記領域内の任意の位置から旋回走行を開始してその旋回半径を徐々に大きくしていく渦巻き走行を行い、前記境界を検出時の該境界までの距離が予定距離以内であると判断したときに渦巻き走行を中止して前記境界から遠ざかるように進行方向に対して予定の折返し角度で折返して直進し、以後、次々に前記境界を検出する毎に折返しおよび直進を繰り返す、予定の折返し回数だけ折返した後、予定距離だけ直進した位置から再び前記渦巻き走行をする点に第1の特徴がある。

【0009】また、本発明は、前記渦巻き走行に移るまでの折返し回数および最終折返し後、渦巻き走行に移るまでの直進距離は、前記領域をほぼ網羅的に走行するのに要する時間が極小になるようにシミュレーションモデ

ルにより決定したデータによる点に第2の特徴がある。また、本発明は、前記折り返し角度が進行方向に対してほぼ 135° である点に第3の特徴がある。

【0010】また、本発明は、移動ロボットが、前記センサとして進行方向前方左右に少なくとも一対の障害物センサを有するとともに、前記領域の境界が壁面で形成され、前記移動ロボットは障害物センサで前記境界の壁面を検出しつつ自律走行する点に第4の特徴がある。

【0011】また、本発明は、右車輪および左車輪のそれぞれの回転方向および回転速度によって進行方向が決定される自律走行ロボットの制御装置において、本体の前方右側に設けられた右側障害物センサと、本体の前方左側に設けられた左側障害物センサと、前記右側障害物センサで検出された障害物までの距離に対応して前記左右の車輪を駆動するための走行パラメータ、および前記左側障害物センサで検出された障害物までの距離に対応して前記左右の車輪を駆動するための走行パラメータをそれぞれ決定する手段と、前記決定されたそれぞれの走行パラメータのうち、前記障害物を回避するための低速走行優先のルールに基づいて右車輪に対応する走行パラメータおよび左車輪に対応する走行パラメータを選択し、これによって、前記右車輪および左車輪の回転方向および回転速度を決定する手段とを具備した点に第5の特徴がある。また、本発明は、前記走行パラメータは少なくともロボットの走行速度を含み、前記障害物センサで検出された障害物までの距離が短くなるのに対応して前記走行速度が段階的に小さく設定されるように構成した点に第6の特徴がある。

【0012】第1ないし第3の特徴によれば、領域内で繰り返される渦巻き走行によって領域内のほぼ全域を網羅するように効率的にロボットを走行させられる。特に、第2の特徴によれば、シミュレーションの結果によって最大の効率を追及して決定された折返し回数と折返し後の最後の直進距離によって、効率を考慮した最適の位置から次の渦巻き走行が開始される。

【0013】また、第4ないし第6の特徴によれば、ロボットの進行方向右側と左側とに設けられたセンサによって検出された障害物までの距離に基づいてロボットの走行が制御され、特に、第5の特徴によれば、ロボットの進行方向右側と左側とに設けられたセンサによって検出された障害物までの距離に基づいて走行のためのパラメータが左右独自に決定され、そのいずれかによって、障害物を回避するのに適したように、低速走行優先のルールに基づいて車輪の速度等は決定される。

【0014】

【発明の実施の形態】以下に、図面を参照して本発明を詳細に説明する。図1は本発明の一実施形態に係る制御装置を含む移動ロボットの概略構成を示す模式図である。同図において、ロボット1は、本体2の両側にそれぞれ配置された無限軌道付の車輪3、4によって前進、

後退、停止および旋回の各動作を行えるように構成されている。各車輪には図示しないモータが個別に結合されている。前記旋回には、左右の車輪3、4の一方を停止させ、片方のみを回転させて行う信地旋回と、両方の車輪3、4を互いに逆転させて行う信地旋回（本願では特に「超信地旋回」という）とが含まれる。本体2の前方に設けられたバンパー5には障害物との接触を、圧力を感知して検出する接触センサ（図示しない）が取り付けられている。

【0015】さらに、ロボット1には、障害物を非接触で検知するための超音波センサが8個設けられている。ロボット1の進行方向前方に設けられたセンサ6R、6L、前方斜めに設けられたセンサ6MR、6ML、前方下部に設けられたセンサ6DR、6DL、ならびに側方に設けられたセンサ6SR、6SLである。これらのセンサは超音波センサからなるのが望ましいが、光学的センサ等の他の障害物センサを使用してもよい。センサ6R、6SR、6MR、6DRは走行方向に対して右側の障害物を検出し、センサ6L、6SL、6ML、6DLは走行方向に対して左側の障害物を検出する。そして、右側のセンサ6R、6SR、6MR、6DRの検出信号に基づいて右側の車輪3の回転を制御し、左側のセンサ6L、6SL、6ML、6DLの検出信号に基づいて左側の車輪4の回転を制御する。

【0016】以下の説明では、センサ6R、6L、6MR、6ML、6DR、6DL、6SR、6SLを総括的に呼称する場合は超音波センサ6という。前記センサ6DR、6DL、6MR、6MLはECU1aに、センサ6SR、6SLはECU2aに、センサ6R、6LはECU3aにそれぞれ接続されている。各ECUはセンサ6の駆動回路および該センサ6の信号の入出力を管理する電子回路装置であり、後述の制御装置7に接続されている。

【0017】上記障害物検知用センサに加えて、前記車輪3、4の回転数を検出するためのセンサ（図示しない）が設けられる。この回転数検出センサは、具体的には、該車輪駆動用のモータに結合されるエンコーダで実現でき、該エンコーダの出力パルスを回転数出力として利用できる。

【0018】次に、本実施形態に係る制御装置のハード構成を図2のブロック図を参照して説明する。同図において、制御装置7はCPU8を具備し、超音波センサ6は該超音波センサ6の入出力を管理する超音波センサ駆動回路16（ECU1a、ECU2a、ECU3aを含む）を介してデジタル入力部9に接続される。デジタル入力部9には、超音波センサ6のほか、前記バンパー5に設けられた接触センサ5A、および左右の車輪3、4を駆動するモータの回転数センサ（エンコーダ）10が接続される。この構成により、デジタル入力部9を通じて超音波センサ6、接触センサ5A、回転数センサ10

の検出信号がCPU8に入力される。

【0019】一方、CPU8には、デジタル出力部11を介して右車輪用電磁ブレーキ12、左車輪用電磁ブレーキ13、右車輪モータ（以下、「右モータ」という）14、および左車輪モータ（以下、「左モータ」という）15が接続されている。そして、CPU8での処理に基づく指示は該デジタル出力部11を通じてそれぞれ右車輪用電磁ブレーキ12、左車輪用電磁ブレーキ13、右モータ14、および左モータ15等に入力される。デジタル出力部11を通じて右モータ14および左モータ15に供給されるのは回転方向の指示信号である。また、右モータ14および左モータ15には、D/Aコンバータ17を通じてCPU8から回転速度指示が入力される。

【0020】上記構成により、入力された超音波センサ6および接触センサ5A（以下、総括的には「センサ」と呼ぶ）からの情報に基づき、CPU8は右モータ14および左モータ15等の駆動系の動作を決定する。当該ロボットは上述のように前進、後退、停止、および旋回の各動作を行うが、そのための制御機能はモジュールとして個別にCPU8の機能で実現される。各センサからの情報の入力処理や動作判断処理は常時動作しているが、超信地旋回、停止、後退の各制御モジュールは通常はスリープ状態になっていて、直進制御のみが起動されている。なお、超信地旋回以外の旋回は直進制御モジュールの機能に含まれる。

【0021】CPU8の動作判断部は、各センサからの情報に基づいて予め定められた動作を条件反射的に行わせるように構成している。図3は動作判断部の処理系の概要を示す模式図である。同図に示すように動作判断部18は各センサに対応して階層型に構成されており、該動作判断部18はセンサ6、5Aの状態に応じた行動計画を決定して実行要求を出力する。この実行要求に基づいて右車輪用電磁ブレーキ12、左車輪用電磁ブレーキ13、右モータ14および左モータ15からなる駆動系（アクチュエータ）19が制御される。こうして、各センサからの情報に基づいて個別に決定された行動計画による実行要求が積み重ねられ、ロボット全体の動作が決定付けられている。

【0022】本実施形態では、各センサの状態によって決定された行動計画を直ちに実行するのではなく、予め設定した緊急度に基づいて優先付けをし、緊急度の高い行動計画を優先的に実行するようにした。図4は、本実施形態で実施した動作判断の機能を示すブロック図である。同図において、行動計画AP1、AP2、…、APnが決定された場合に、選択部20は行動計画AP1～APnのうち、壁面との衝突を回避する際に最も緊急度の高い動作をする行動計画を選択する。本実施形態では、後退制御が起動されたときに最も緊急度が高い動作として第1優先にした。続いて、超信地旋回制御を第2

優先にし、その後は、信地旋回、急旋回、緩旋回の順で優先付けをした。信地旋回、急旋回、緩旋回は直進制御の中に含まれ、左右の車輪3、4の速度差で区別される。この優先付けに基づいて、例えば、右方向へ旋回角度 θ で中速で緩旋回するためには、右車輪3をV1rpmで回転させ左車輪をV2rpmで回転させる（ $V2 > V1$ ）という行動計画が実行される。なお、上記行動計画の優先付けは、超音波センサ6の検出結果に基づくものであり、前記接触センサによる障害物検出のときの停止制御は含んでいない。

【0023】上記行動計画による後退制御は、予め設定された時間だけ後退する動作であり、たいていは、その後、超信地旋回に移る。また、通常の走行状態である直進では、左右のモータ14、15に同様の出力を与えるが、直進の精度を向上させるため、左右のモータ14、15の回転数センサ10からのパルス信号に基づいて、両者が同一となるように補正を行ってもよい。

【0024】なお、停止は、前記回転速度としてゼロの指示をするとともに、右車輪用電磁ブレーキ12、左車輪用電磁ブレーキ13を駆動させることによって行う。さらに、停止制御では必要ならば回生ブレーキをきかせるような動作を指示してもよい。

【0025】続いて、上述の各動作を組み合わせたロボットの走行パターンを説明する。まず、ロボット1の基本的な走行パターンであるランダム走行について説明する。図5において、境界または壁面Bで囲まれた領域Aに置かれたロボット1は直進して壁面Bから予定距離以内に入ると、一時停止して、後退・旋回という順序で折返し動作をした後、再び直進して別の壁面Bに向かう。このとき、壁面Bの近傍での折返し動作の角度つまり旋回角度 α （図5（b）参照）は、折返し動作のつどランダムに選択されて設定される。

【0026】さらに、本発明者等は、ロボット1がなるべく同じ場所を繰り返して走行しないようにしつつ、なるべく領域内の多くを網羅的に走行できるようにする効率（以下、「作業効率」という）の向上を図るためには最適な旋回角度 α があることを、シミュレーションの結果発見した。最適な旋回角度 α は135°である。以下、旋回角度 α を135°にした走行パターンのことをファインチューニングランダム走行と呼ぶ。

【0027】本発明者等は、ファインチューニングランダム走行に加えて、渦巻き走行をさらに付加したところ、作業効率の一層の向上が図られることを見出した。すなわち、前記ファインチューニングランダム走行による角度135°の旋回を予定回数繰り返した時点で、渦巻きをするという走行パターンである。該渦巻きを含む走行パターンを渦巻き走行と呼ぶ。

【0028】続いて、渦巻き走行の走行パターンを詳細に説明する。図6において、ロボット1を領域A内に置く。この領域Aは壁面Bで囲まれた矩形の部屋を想定す

る。最初にロボット1を置く位置は任意である。図6

(a)のように、ロボット1は置かれた位置で渦巻き走行を開始する。渦巻き走行は、旋回走行において徐々に旋回半径を大きくする走行パターンであり、後で詳述するように、直進、超信地旋回、後退等とは別の動作判断に基づいて制御される。ここでは、走行軌跡に隙間ができないように左右の車輪3、4の速度つまりモータ14、15のそれぞれの回転速度を計算し、これらの速度を更新して旋回半径を決定する。こうして、渦が拡大し、超音波センサ6の出力によって検出された壁面Bとの距離に基づいて、ロボット1が壁面Bに対して予定距離以内に近付いたことが認識されると、渦巻き走行を停止し、次の渦巻き走行開始位置まで移動するための直進走行を開始する(図6(b))。なお、図中影付部分はロボット1の走行軌跡である。

【0029】渦巻き走行を止めて次の渦巻き走行の開始位置まで移動する動作の契機は次のとおりである。ロボット1が壁面Bに接近して、各超音波センサ6による検出距離が予定距離以下になったときには折返し動作をする。例えば、ロボット1は壁面Bを検出したときの該壁面Bまでの距離が予定値以下であったときは、その位置で停止し、予定距離後退をした後、135°の超信地旋回をして向きを変え、該壁面Bから遠ざかるように直進する。また、壁面Bを検出したときの該壁面Bまでの距離が予定値以上であれば、角度の小さい旋回をして壁面Bを回避する。

【0030】こうして、壁面Bで折返して直進し、他の壁面Bに接近すると、再び該壁面Bから遠ざかるように、後退と超信地旋回、または旋回により向きを変えて直進する。こうして予め定められた回数Nだけ壁面Bで折返し動作をしたならば、最後に折返し動作をした壁面から遠ざかるように予定時間T(距離Dに相当)だけ直進した所で停止し、最初の動作と同様の渦巻きを行う(図6(c))。以下、これらの動作を繰り返す。なお、以下の説明では、最後に折返し動作をした壁面から遠ざかるように直進する距離Dは時間Tで代表して説明するが、距離Dおよび時間Tのいずれを使用しても制御するかは設計者が任意に選択できる。

【0031】図7は、本発明者等が実験した場合の上記各走行方式によるロボット1の作業時間と作業の進み度合を示したグラフである。同図(a)において、縦軸は与えられた領域においてロボット1が走行して網羅した領域の面積の割合、横軸は走行開始からの経過時間を示す。この場合の諸条件として、走行する領域は4.2m×4.2mの正方形であり、ロボット1の平面積は直径20cmの円で代表させ、ロボット1の走行速度は13cm/秒に設定した。

【0032】なお、座標系走行とは、予め作業領域を網羅して走行するように設定されたコースに沿って走行する方式であり、該走行方式によれば時間の経過に直線的

に比例して網羅した領域の割合は増大する。これと比較して、渦巻き走行を含む他の走行方式では、なだらかな伸びを示すため、領域の完全な網羅を目指すことは困難である。そこで、一例として領域の80%を網羅して走行するのに要した時間で効率の比較をすると、座標系走行を除く3つの走行方式の中では渦巻き走行が最も短時間(約1800秒)で領域の80%を網羅しているのが分かる。また、領域の広さを倍にした(4.2m×8.4m)例を図7(b)に示した。この場合も、ほぼ同じ傾向が得られた。

【0033】ところで、前記回数Nと時間Tとはいずれも適当な回数に設定しておく必要がある。すなわち、回数Nが少ないと、前回の渦巻き走行範囲に近すぎるため、同一範囲を走行することになって作業効率がよくなり、逆に、回数Nが多い場合は直進時間が長くなりすぎて効率がよくない。また、前記時間Tが短かすぎても長すぎても、壁面の近くで渦巻き走行を開始することになり、すぐに壁面を認識してしまうので、効率がよくない。

【0034】最も効率のよい時間Tをシミュレーションで見つけた結果を図8に示す。図8において、縦軸に作業効率、横軸に超信地旋回後の走行時間T(秒)を示す。作業効率は、1秒間に全走行領域の何%の領域を平均的に網羅して走行したかで表わしている。ファインチューニングランダム走行とランダム走行の例は、全走行領域の80%を網羅するのに要した走行時間(図7参照)に基づいて算出した値である。但し、走行領域の広さは図8(a)の例が4.2m×4.2m、図8(b)の例が4.2m×8.4mであり、先の実験の場合と同様に、ロボット1の平面積は直径20cmの円で代表させ、ロボット走行速度は13cm/秒とした。

【0035】図示のように、時間Tを変化させると作業効率のよい点(ピーク)が2か所現れるので、より短時間で、高い効率が得られる点を選択して時間Tを設定する。比較のためにランダム走行とファインチューニングランダム走行の場合の作業効率も併せて示している。

【0036】また、最も効率のよい回数Nをシミュレーションで見つけた結果を図9に示す。図9において、縦軸に作業効率、横軸に回数Nを示す。走行領域の広さ、ロボットの平面積、ロボット走行速度は図8の例と同一である。この図のように、回数Nを変化させると作業効率のよい点(ピーク)が数か所現れるが、最も良い回数Nは領域が狭い場合も広い場合も、同様に5回に設定したときである。ここでも、比較のためにファインチューニングランダム走行とランダム走行の場合の作業効率も併せて示している。

【0037】なお、上述の、最も効率のよい時間Tおよび回数Nを見つけるシミュレーションでは、時間Tおよび回数Nは互いに他方に影響を与えない、すなわち傾向に変化はない。したがって、まず時間Tまたは回数Nを

適当な値を選択して一方の最良値を決定し、その後にもう1つのパラメータの最良値を決定すればよい。本実施形態では、まず時間Tを決定し、次に回数Nを決定した。

【0038】続いて、制御装置7の動作をフローチャートを参照して説明する。まず、超音波センサ6の入力処理を説明する。図10において、ステップS100では超音波センサ6（超音波センサ駆動回路16）からの処理要求を待つ。処理要求があればステップS110に進み、処理要求が超音波送信処理要求か否か、つまり超音波センサ6が超音波を送信したことをCPU8に通知してきたのか否かを判断する。超音波送信処理要求ならば、ステップS120に進み、予定のカウント値をセットしてダウンカウントをスタートさせる。このカウント値は超音波センサ6の受信能力から考えて受信（反射波）が得られると予想される最大の時間に相当する。

【0039】ステップS130で超音波受信処理要求の有無、つまり超音波センサ6が反射音を受信したか否かを判断する。受信処理要求がなければステップS140に進んでタイムアウトか否か、つまり前記カウント値が「0」か否かを判断し、タイムアウトになるまで受信処理要求を待つ。一方、ステップS130で受信処理要求があったと判断されればステップS150に進み、そのときのカウント値を取得して記憶する。カウント値を取得したならばステップS170でカウンタをクリアする。タイムアウトになるまで受信処理要求がない場合は、ステップS160でカウンタ値「0」を今回検出値として記憶し、ステップS170でカウンタをクリアする。ステップS180では記憶したカウント値の信頼性を向上させるための多数決処理をするのが好ましい。この多数決処理の詳細は図17に関して後述する。以下の説明では、この超音波センサ入力処理で記憶されたカウント値を距離カウンタ値と呼ぶ。

【0040】図11は、接触センサ5Aの入力処理のフローチャートであり、ステップS80で接触センサ5Aから検出信号が入力されたならば、ステップS90で、ロボット1の停止指示すなわち左右のモータ14、15に回転速度「ゼロ」を出力するとともに、右車輪用電磁ブレーキ12および左車輪用電磁ブレーキ13を駆動する。この接触センサ5Aの入力処理は、例えば10m秒毎の割り込み処理である。

【0041】次に、上記各センサの出力信号に基づく制御動作を説明する。図12のゼネラルフローにおいて、ステップS1では、渦巻き処理開始指示をする。これによって渦巻き処理が開始される。渦巻き処理の詳細は図14に関して後述する。ステップS2では前記超音波センサ入力処理の結果、つまり前記距離カウンタ値を要求する。ステップS3では、接触センサ入力処理をする。ステップS4では渦巻き中か否かを判断する。最初は、前記渦巻き処理開始指示にตอบสนองして渦巻きが開始されて

いるのでこの判断は肯定となる。渦巻き中であって、判断が肯定であったならば、ステップS5に進み、その動作を継続するか否かの渦巻き継続判断処理をする。この渦巻き継続判断処理は、前記超音波センサ入力処理結果で得られた前記距離カウンタ値に基づき、ロボット1が壁面Bから予定距離以内に近付いたと判断したときに渦巻きを中止して次の渦巻き開始位置に移動するか否かの判断をするための処理である。本実施形態では壁面から30cm以内にまで近付いたか否かで判断している。ステップS6では、ステップS5の処理に基づき、渦巻きを中止するか否かを判断する。渦巻きの中止と判断されなかった場合は、ステップS2に戻る。

【0042】渦巻きの中止と判断された場合は、ステップS8に進んで次の動作を判断する。渦巻きが中止された場合の次の動作は無条件に後退である。壁面Bに近付いているので通常の旋回動作では壁面Bに突き当たってしまうため、後退・超信地旋回・前進という手順をとる必要があるためである。

【0043】ステップS8の次の動作が「後退」のときは、ステップS9に進んで現在後退しているか否かを判断する。渦巻きを中止した直後は後退していないので、この判断は否定となり、ステップS10に進んで瞬時（20～30ms）停止した後、ステップS11に進む。ステップS9の判断が肯定の場合は、ステップS10はスキップしてステップS11に進む。ステップS11では後退処理開始要求をする。後退処理は後述する。ステップS11での後退処理要求にตอบสนองして後退処理が開始されると「渦巻き走行中」ではなくなるので、ステップS4の判断が否定となってステップS7に進む。渦巻き走行中でない場合は、ステップS7の判断処理結果によってステップS8の判別が行われる。

【0044】ステップS7では、各超音波センサ6毎の距離カウンタ値に基づいて次に行うべき動作を判断するための処理（次動作判断処理）を行う。次動作判断処理では、図13の走行パラメータ決定表から得られた走行パラメータをもとに次に行う動作が判断される。図13において、壁面までの距離に対応する各センサの検出値に従い、起動する制御パラメータが渡される。パラメータは、車輪の速度、旋回レベル、および旋回方向である。ロボット1の左右それぞれの車輪の速度は、極低速（毎時0.5km）、低速（毎時1.0km）、中速（毎時2km）、高速（毎時3km）の4段階が設定され、旋回レベルは、緩旋回（角度30°「3」）、急旋回（角度60°「2」）、信地旋回（片輪停止状態での旋回「1」）、超信地旋回（左右車輪逆転「0」）の4段階が設定されている。また、旋回方向には右と左が設定されており、ロボット1の右側半分に設けられている超音波センサ6（6SR, 6R, 6DR, 6MR）で壁面を検出したときは左旋回、左側半分に設けられている超音波センサ6（6SL, 6L, 6DL, 6ML）で壁

面を検出したときは右旋回の判断がなされる。ここで、ロボット1の車輪の速度を表すパラメータは2つ設けられている。1つは各センサが設けられている側の車輪の速度であり、他の1つは各センサが設けられている側とは反対側の車輪の速度である。例えば右側のセンサ6Rの検出値に対応して自分側（右側）のモータおよび相手側（左側）のモータへ出力すべき2つの速度が決定される。但し、パラメータはすべてのセンサ6の検出値に対応して多数得られることになるので、最終的にどのパラメータを採用するかは予め定めたルールに従う。原則的には、より低い速度のものが優先されるようにルールを決定してあるが、例外的に、左右のモータ14、15両方に「停止」が渡された場合は、「極低速」に決定することとする。

【0045】例えば、右前方のセンサ6Rの距離カウンタ値から判断された距離が0.5m～1mであったならば、右モータ速度は「低速」、左モータ速度は「停止」となる。また、起動する制御名は旋回で、旋回レベルは「信地旋回：1」、旋回方向は「左」というパラメータが得られる。一方、このとき、左前方のセンサ6Lの距離カウンタ値から判断された距離が1m～1.5mであったとすると、左モータ速度は「中速」、右モータ速度は「極低速」となる。また、起動する制御名は旋回で、旋回レベルは「急旋回：2」、旋回方向は「右」というパラメータが得られる。これらのパラメータを照合してより低い速度を採用すると、右モータが「極低速」、左モータが「停止」と決定され、結果として、ロボット1は左方向へ極低速で信地旋回していくことになる。

【0046】さらに別の例をあげれば、センサ6Rの距離カウンタ値から判断された距離が1.5m～2mであったならば、右モータ速度は「中速」、左モータ速度は「低速」となる。このとき、センサ6Lの距離カウンタ値から判断された距離が同様に、1.5m～2mであったとすると、左モータ速度は「中速」、右モータ速度は「低速」となる。そして、これらのパラメータを照合してより低い速度を採用すると、右モータが「低速」、左モータが「低速」と決定され、結果として、ロボット1は低速で直進していくことになる。例えばロボット1が壁面に正対して直進していると、左右のセンサ6L、6Rの検出値が同一となり、徐々に速度は低下しながら壁面に近付き、最後は、後退、超信地旋回をして壁面から遠ざかるという動作をする。

【0047】ステップS7の次動作判断処理の結果、ステップS8で超信地旋回の判断がされたならばステップS12に進む。ステップS12では現在超信地旋回が行われているか否かを判断する。最初は判断が否定となり、ステップS13に進んで瞬時（20～30ms）停止する。ステップS14では超信地旋回処理の開始指示が発せられる。ステップS14で超信地旋回処理の開始指示が発せられた後のサイクルではステップS12の判

断が肯定となり、ステップS15に進んで脱出モード処理を行う。ロボット1が領域の隅部にはまってしまうと、通常の後退と超信地旋回では隅部から抜け出せない状態が生じることに鑑み、超信地旋回時にはこの脱出モード処理を行うものである。脱出モード処理は本発明の要部ではないので、詳細の説明は省略する。なお、特願平9-42879号に詳細に記載されている。

【0048】超信地旋回によって予定角度（一例として135°）旋回した後、次のサイクルにおいてステップS8で前進の判断がされたならば、ステップS16に進む。ステップS16では現在前進中か否かが判断され、最初はステップS17に進んで瞬時（20～30ms）停止した後、ステップS18のハンチング防止処理を経てステップS19に進み、前進処理の開始指示が発せられる。この前進処理の開始指示に従ってロボット1は前進し、壁面から予定距離に近付いたときに、距離カウンタ値に従って次に行うべき動作（走行）が決定される。前記ハンチング防止処理は本発明の要部ではないので詳細は省略する。なお、特願平9-42878号に詳細に記載されている。

【0049】次に、上記各センサの出力信号に基づく各制御（ソフト）モジュールの動作説明をする。まず、ロボット1の渦巻き処理を説明する。渦巻き動作は図12に関して説明したように、作業開始時および、壁面を検出して反射する動作のうち超信地旋回を伴う反射をN回繰り返し、最後の反射動作から時間Tを経過したときに開始される。作業開始時には前記ステップS1（図12）におけるオペレータによる処理開始指示で渦巻き処理が開始され、作業中は、超信地旋回をN回実行した後超信地処理モジュールから発せられる処理開始指示（図15ステップS33参照）で渦巻き処理が開始される。ここでは、超信地処理モジュールからの処理開始指示によって起動される場合を説明する。

【0050】図14において、ステップS20では、超信地処理モジュールから渦巻き処理開始指示を受けるまで待つ。すなわち予め設定された回数Nだけ超信地旋回を行った後に超信地処理モジュールから発せられる指示を待つ。渦巻き処理開始指示があったならば、ステップS21で前記時間Tつまり最後の超信地旋回の後、渦巻き開始までの直進時間として、例えば26秒をタイマに設定して該タイマを起動する。なお、渦巻き処理開始指示は最後のつまりN回目の超信地旋回処理開始とほぼ同時に出力される（図15のステップS33参照）ので、ここでの時間Tには、超信地旋回のための後退時間と超信地旋回時間（図15のステップS35参照）とが含まれている。ステップS22では前記時間Tが経過したか否かを判別し、時間Tが経過したならば、ステップS24に進む。時間Tが経過するまではステップS23に進んで処理中止の指示の有無を判断し、時間Tが経過するまでに処理中止の指示があった場合は、ステップS20

に戻る。

【0051】ステップS24では、渦巻きが終了か否かを判断する。この判断が肯定となればステップS20に戻るが、それまではステップS25に進む。ステップS25では、渦巻きの大きさを決定するため左右の車輪3, 4の速度を計算し、セットする。ここでセットされた左右の車輪3, 4の速度に従って、左右モータ14, 15に回転速度の指示が与えられ、渦巻きが走行が実行される。

【0052】ステップS26では渦巻きが滑らかに拡大するように前記各車輪3, 4の速度の更新を行うまでの時間 t を計算し、その時間をタイマに設定して該タイマを起動する。ステップS27では前記時間 t が経過したか否かを判断し、時間 t が経過したならばステップS24に進む。ステップS28では中止指示の有無を監視し、中止の指示がない場合は前記時間 t が経過するまでステップS27, S28を繰り返す。なお、距離カウンタ値に基づき、壁面または障害物までの距離が予定距離以下になるか接触スイッチ5Aの検出信号に基づく停止指示があれば、前記渦巻きが終了したか否かの判断は肯定となる。

【0053】次に、超信地旋回処理を説明する。図15において、ステップS30では処理開始指示を待つ。ステップS31では超信地旋回数（以下、単に「超信地回数」という） n をインクリメント（+1）する。ステップS31では超信地回数 n が予定の反射回数「 N 」に達したか否かを判断する。超信地回数 n の初期値は

「0」に設定してあるので、最初の判断のときは超信地回数 n は「1」であり、該ステップS32の判断は否定となり、ステップS33およびステップS34をスキップしてステップS35にジャンプする。

【0054】ステップS35では旋回時間を算出する。旋回時間で旋回角度を決定しているのので、 135° の旋回角度に対応する時間を算出する。旋回時間を計算したならば、ステップS36に進んで、右車輪3および左車輪4が互いに逆転するように指示をする。ここで、右車輪3および左車輪4のいずれを正回転にするか逆回転にするかは、前記走行パラメータの「旋回方向」で決定する。ステップS37では、前記旋回時間が経過するか中止指示があるまで待つ。ステップS38では、超信地旋回終了か否かを判断する。超信地旋回が終了するとステップS39に進み、左右の車輪3, 4に正回転の指示を与える。すなわち、基本の走行モードである直進走行に戻る。

【0055】超信地回数 n が予定の反射回数 N に達したならば、ステップS32からステップS33に進み、渦巻き処理開始指示をする。そして、ステップS34では超信地旋回をするか否かの判断に用いた超信地回数 n をクリアにする。続いて、ステップS35～S39で超信地旋回の処理を終えて、次の超信地旋回の処理開始指

示を待つ。なお、ステップS33で渦巻き処理開始指示がなされるが、すでに説明した渦巻き処理において、時間 T の経過後に実際の渦巻きが開始されるので、渦巻きと、超信地旋回とが重複することはない。

【0056】続いて、後退処理を説明する。図16において、ステップS50では処理開始指示を待つ。ステップS51では右車輪3および左車輪4を逆転させる指示をする。ステップS52では、予定の後退時間が経過するか、中止指示があるまで待つ。ステップS53では、後退が終了するとステップS54に進み、左右の車輪3, 4に正回転の指示を与える。

【0057】次に、前記超音波センサ入力処理における多数決（センサ信号選択）処理を説明する。超音波センサ6の出力は環境によって不安定になることがあるため、取得データ（距離カウンタ値）の信頼性を向上させるため、多数決処理をするのが好ましい。本実施形態で採用している多数決処理では、新しいデータを取得すると過去の2つのデータとの間で多数決をとる。図17において、前回値MIDの上下にマージン m を設定し、このマージン m 内に今回値NEWが入っていれば、今回値NEWは前回値MIDからかけ離れていないので正常な検出信号であると判断して今回値NEWをそのまま今回の距離カウンタ値として採用する（図17（a）参照）。

【0058】しかし、前記マージン m の範囲外に今回値NEWがある場合は、前々回値OLDがマージン m の範囲内か否かを判断する。そして、前々回値OLDが前回値MIDのマージン m の範囲内にあれば、前回値MIDは前々回値OLDからかけ離れていないので正常な検出信号であると判断して今回値NEWを前回値MIDで置き換えて距離カウンタ値とする（図17（b）参照）。

【0059】さらに、前々回値OLDも前回値MIDのマージン範囲に入っていない場合には3つのデータは互いにかけ離れていて、どの信号が正常かは特定できないので、今回値NEWを信頼性の高いデータとみなし、今回検出した距離カウンタ値として採用する（図17（c）参照）。

【0060】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、請求項1ないし請求項7の発明によれば、予め設定した走行経路情報に従って自己位置を検出しつつ精度良く移動体の操向制御をするのと異なり、走行領域の境界や障害物を検出するまでは渦巻きや直進等の定型的な走行をさせるだけで、領域内をほぼ網羅的に走行させることができる。

【0061】特に、請求項3の発明によれば、シミュレーションの結果に基づき、領域を効率良く網羅的に走行させるための最適の条件に基づいてロボットを走行させることができる。

【0062】 また、請求項5, 6の発明によれば、ロ

ボットの進行方向右側と左側とにそれぞれ設けられたセンサによる検出結果に基づいて、それぞれが独自の走行パラメータを決定し、あとは予め設定されているルールに従って最終的な走行パラメータが決定される。したがって、左右のセンサに対応するそれぞれの制御部では、他を考慮しない独自の走行パラメータを決定するだけであり、制御が簡素化される。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施形態に係るロボットの構成を示す模式図である。

【図2】 本発明の実施形態に係る制御装置のハード構成を示すブロック図である。

【図3】 動作判断部の処理系の概要を示す模式図である。

【図4】 行動計画の選択動作説明のためのブロック図である。

【図5】 ロボットの基本的走行パターンを示す模式図である。

【図6】 渦巻き走行の走行パターンを示す模式図である。

【図7】 種々の走行パターンによる作業の進み度合を示すシミュレーション結果の図である。

【図8】 作業効率と時間Tとの関係を示すシミュレ

ーション結果の図である。

【図9】 作業効率と折返し回数Nとの関係を示すシミュレーション結果の図である。

【図10】 超音波センサ入力処理のフローチャートである。

【図11】 接触センサ入力処理のフローチャートである。

【図12】 渦巻き走行の動作判断を示すゼネラルフローチャートである。

【図13】 センサ出力と走行パラメータとの対応を示す走行パラメータ設定表である。

【図14】 渦巻き部分の処理を示すフローチャートである。

【図15】 超信地旋回の処理を示すフローチャートである。

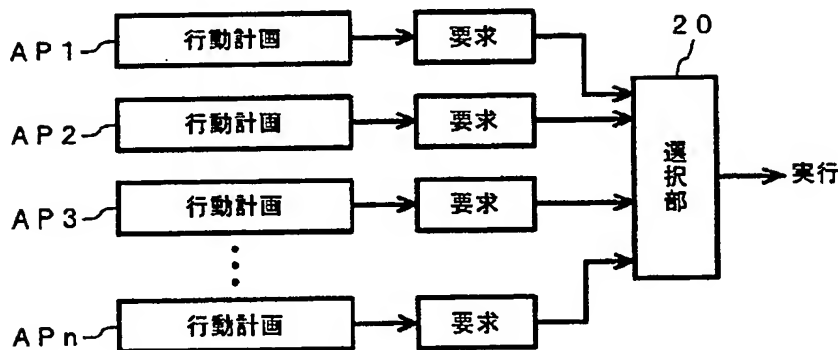
【図16】 後退処理を示すフローチャートである。

【図17】 センサ信号選択処理の概要図である。フローチャートである。

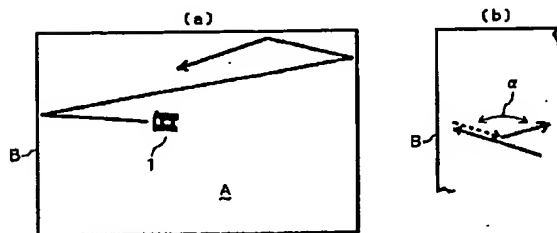
【符号の説明】

1…ロボット、 3…右車輪、 4…左車輪、 5…バンパー、 5A…接触センサ、 6…超音波センサ、 7…制御装置、 18…動作判断部、 20…選択部

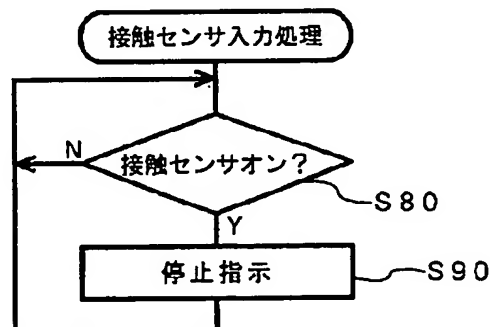
【図4】



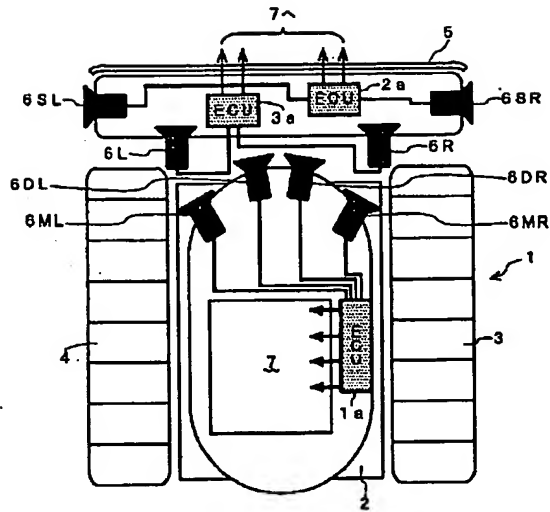
【図5】



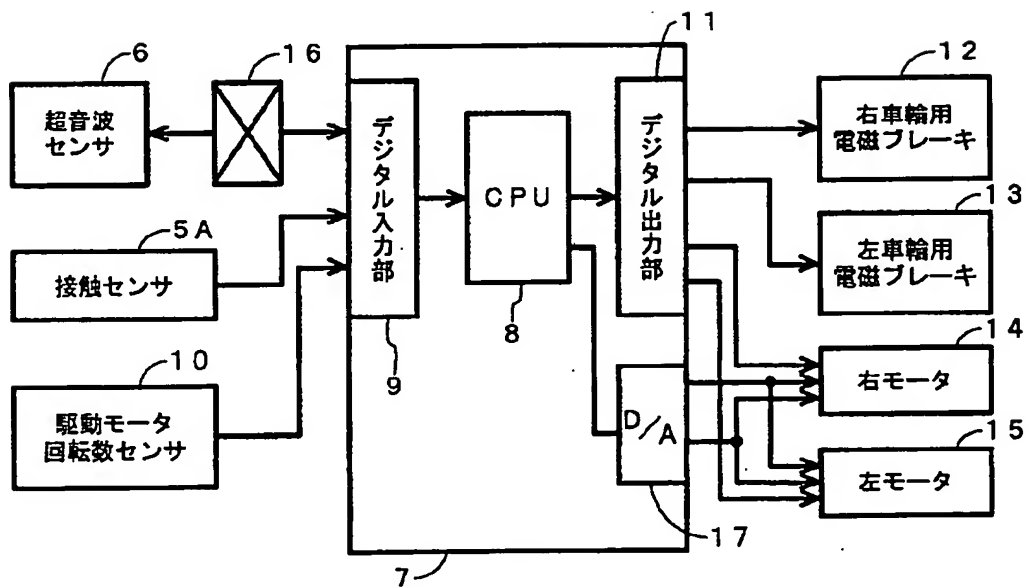
【図11】



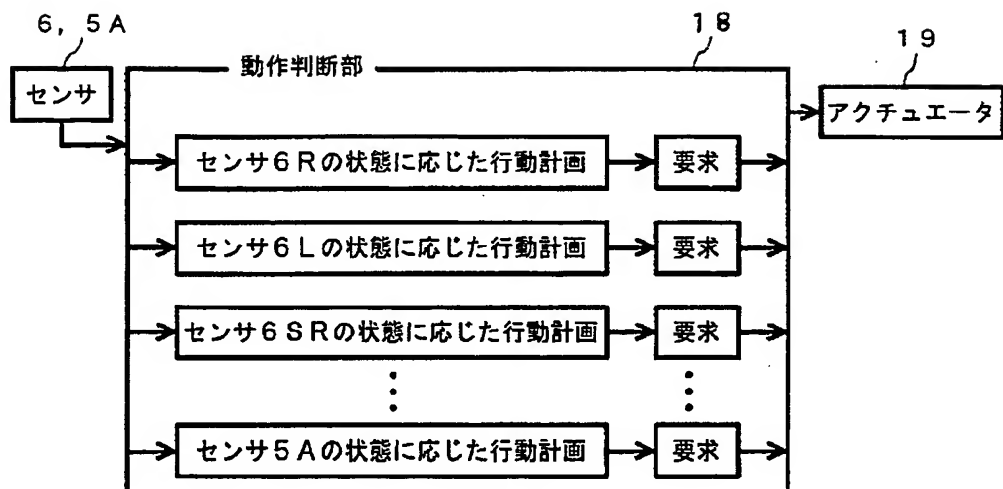
【図1】



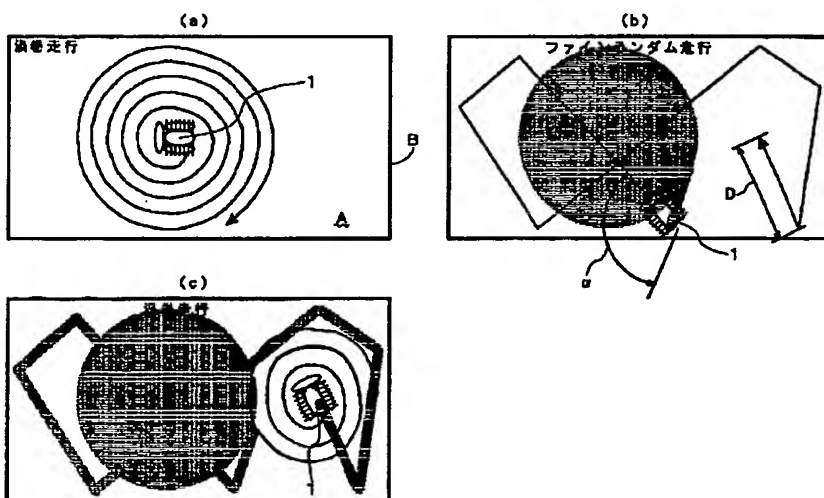
【図2】



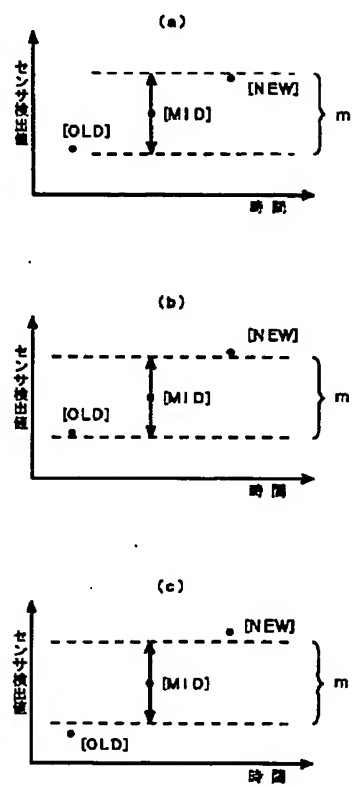
【図3】



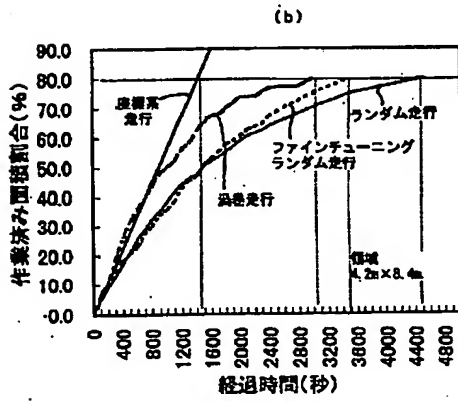
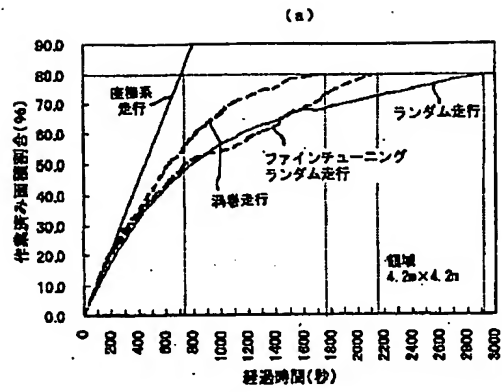
【図6】



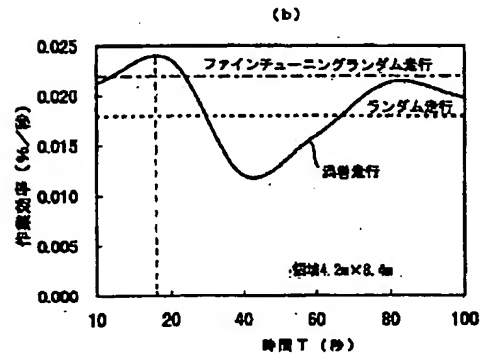
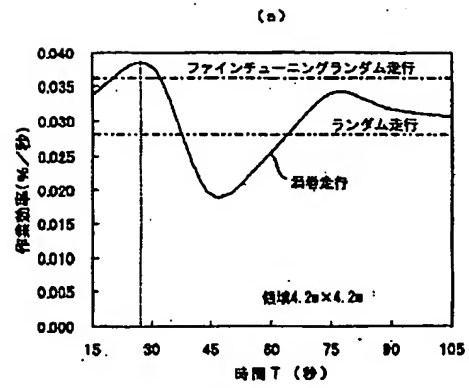
【図17】



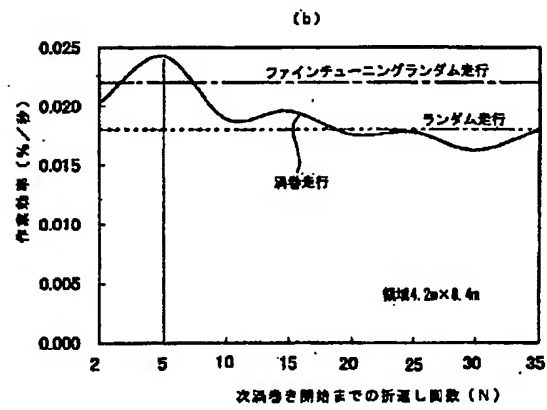
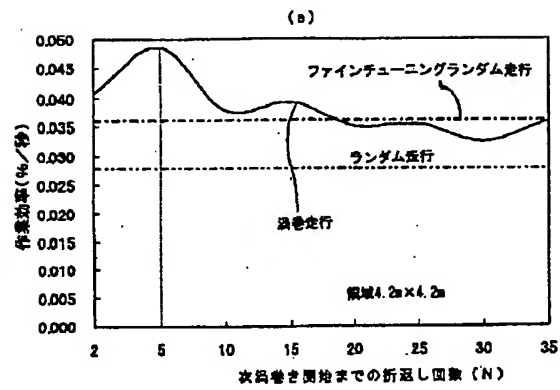
【図7】



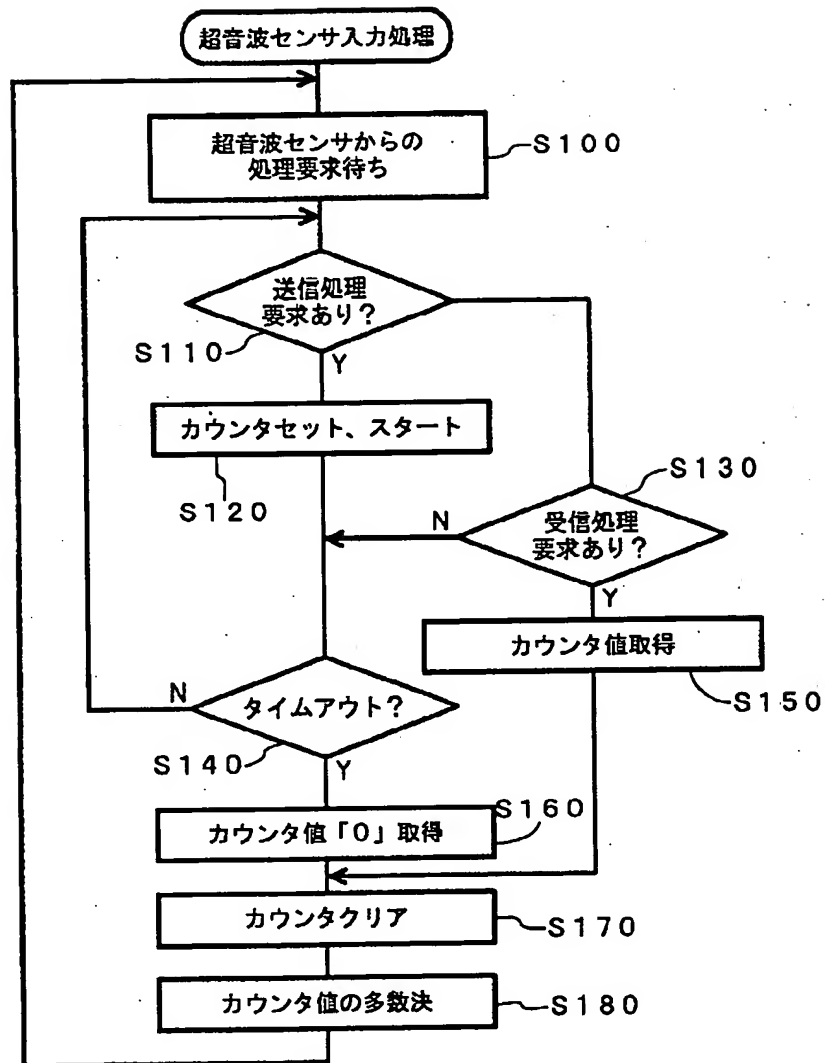
【図8】



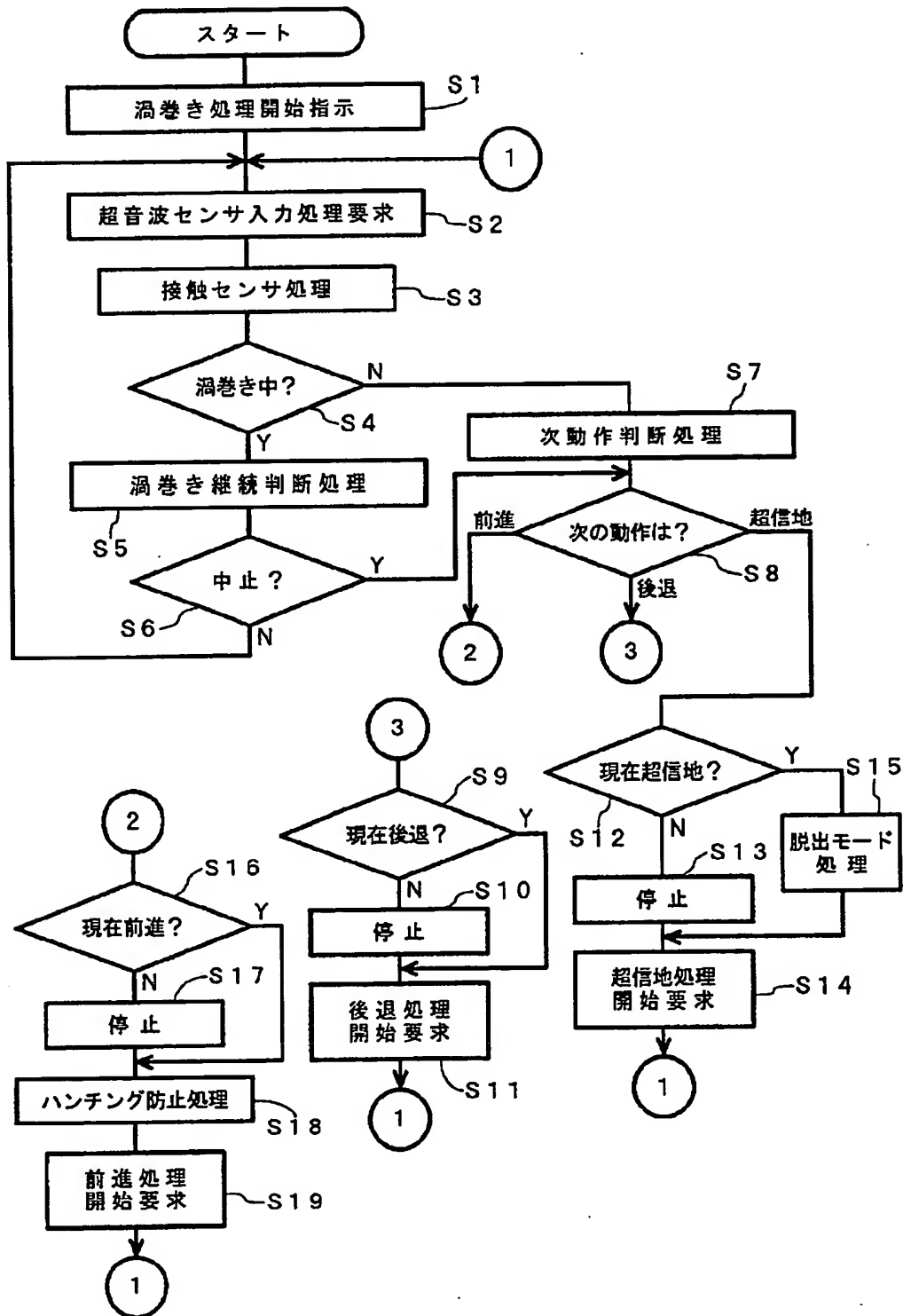
【図9】



【図10】



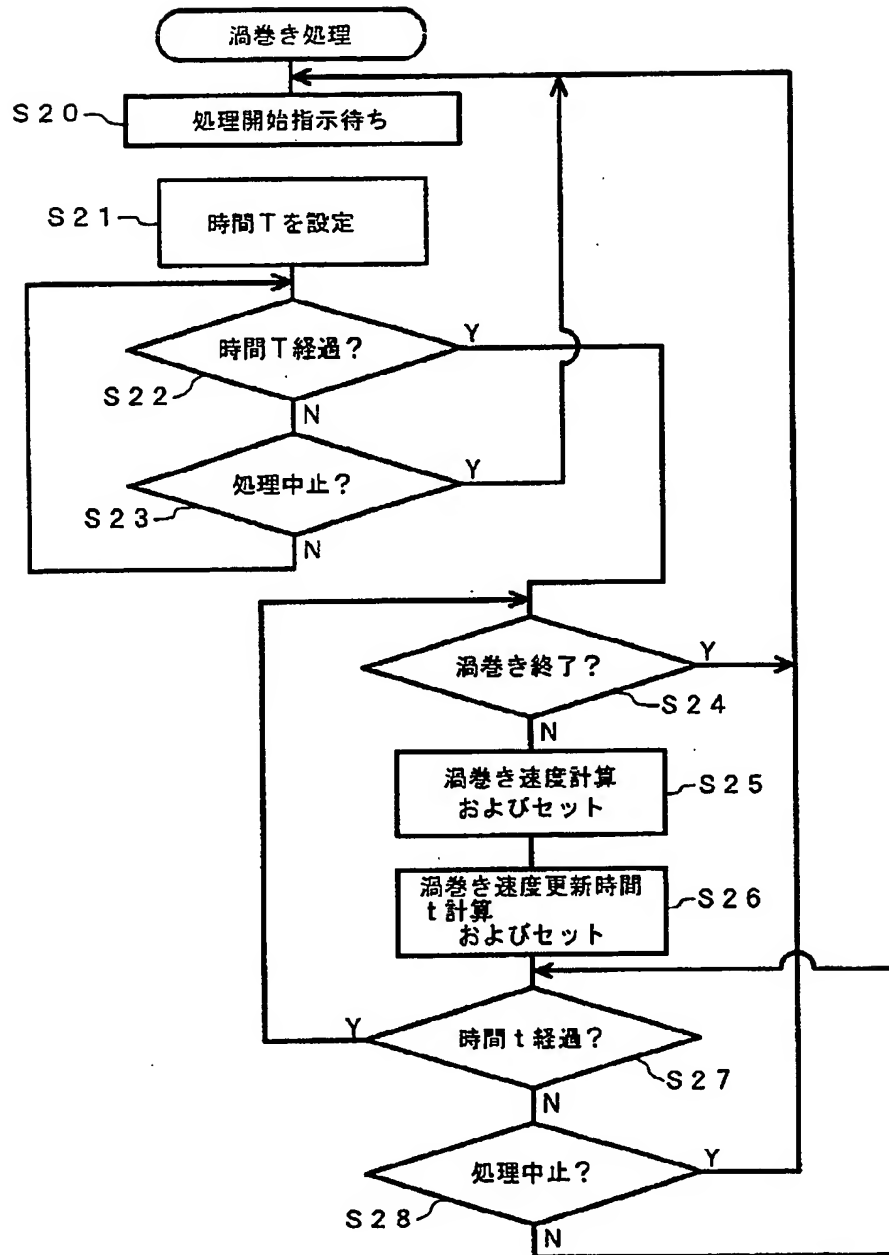
【図12】



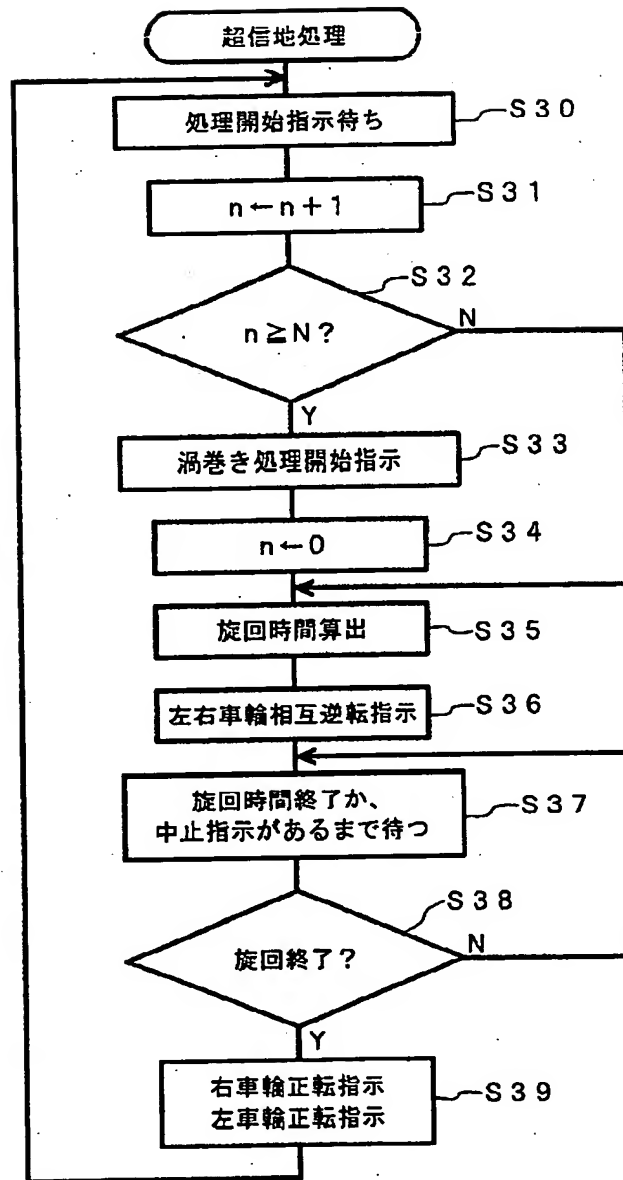
【図13】

センサ名	センサ検出値	起動する制御名	各制御に渡すパラメータ			
			速 度		旋 回 レベル	左右 方向
			自分方向	相手方向		
6SR	0.5m以上	直進	高速	高速	—	—
	0.3m~0.5m	直進（旋回）	中速	極低速	2	左
	0.3m以下	直進（旋回）	低速	停止	1	左
6R	2m以上	直進	高速	高速	—	—
	1.5m~2m	直進（旋回）	中速	低速	3	左
	1m~1.5m以下	直進（旋回）	中速	極低速	2	左
	0.5m~1m	直進（旋回）	低速	停止	1	左
	0.3m~0.5m	超信地旋回	極低速	極低速	0	左
	0.3m以下	後退	極低速	極低速	—	—
6DR	0.5m以上	直進	高速	高速	—	—
	0.3m~0.5m	直進（旋回）	極低速	停止	1	左
	0.3m以下	超信地旋回	極低速	極低速	0	左
6MR	0.5m以上	直進	高速	高速	—	—
	0.3m~0.5m	直進（旋回）	極低速	停止	1	左
	0.3m以下	超信地旋回	極低速	極低速	0	左
6SL	0.5m以上	直進	高速	高速	—	—
	0.3m~0.5m	直進（旋回）	中速	極低速	2	右
	0.3m以下	旋回	低速	停止	1	右
6L	2m以上	直進	高速	高速	—	—
	1.5m~2m	直進（旋回）	中速	低速	3	右
	1m~1.5m以下	直進（旋回）	中速	極低速	2	右
	0.5m~1m	直進（旋回）	低速	停止	1	右
	0.3m~0.5m	超信地旋回	極低速	極低速	0	右
	0.3m以下	後退	極低速	極低速	—	—
6DL	0.5m以上	直進	高速	高速	—	—
	0.3m~0.5m	直進（旋回）	極低速	停止	1	右
	0.3m以下	超信地旋回	極低速	極低速	0	右
6ML	0.5m以上	直進	高速	高速	—	—
	0.3m~0.5m	直進（旋回）	極低速	停止	1	右
	0.3m以下	超信地旋回	極低速	極低速	0	右

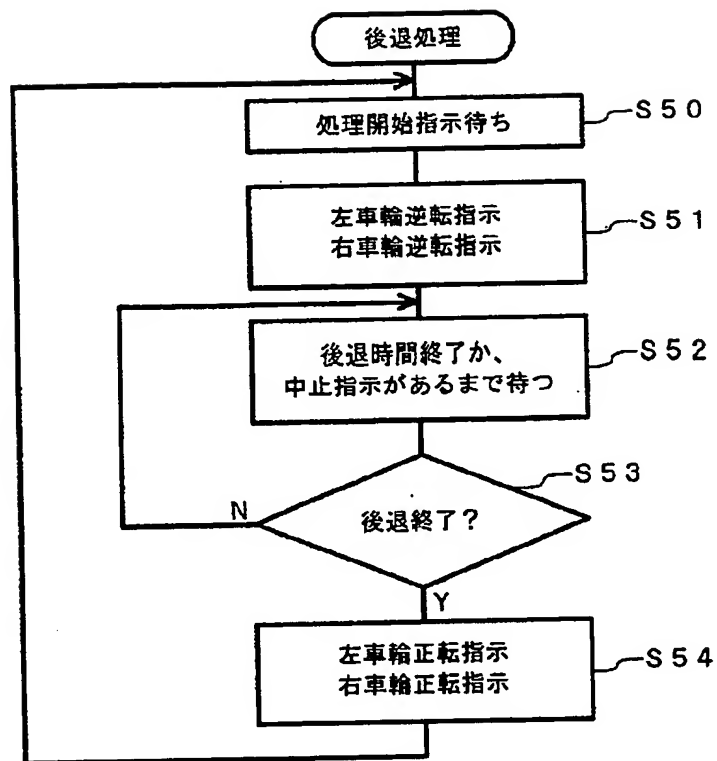
【図14】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(56) 参考文献 特開 平4-160507 (JP, A)
 特開 昭54-60116 (JP, A)
 特開 昭50-157116 (JP, A)
 特開 平3-174607 (JP, A)
 特開 平3-90915 (JP, A)
 特開 平3-29010 (JP, A)

(58) 調査した分野(Int. Cl.⁷, DB名)
 G05D 1/02

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)